

АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ ОСЕЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА, ВЫКОВАННЫХ НА ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ МАШИНЕ РАДИАЛЬНОЙ КОВКИ ТИПА SMX

MICROSTRUCTURE ANALYSIS OF RAILWAY AXLES FORGED ON A HYDRAULIC RADIAL FORGING MACHINE TYPE SMX

д-р Фредерик Кнауф (Frederik.Knauf@sms-meer.com)

Рольф Фест (Rolf.Vest@sms-meer.com)

д-р Альбрехт Холь (Albrecht.Holl@sms-meer.com)

д-р Пауль-Йозеф Нишвиц (Paul-Josef.Nieschwietz@sms-meer.com)

SMSMeerGmbH

Ohlerkirchweg 66

41069 Mönchengladbach / Германия

Abstract

Due to the high level of investment needed in countries such as e.g. Europe and Asia, there is an increasing demand for machines for the manufacture of rails, railway wheels and railway axles. At the moment railway axles are in most cases forged in a series of different forming processes. In an initial rolling process for example possible defects in the starting material are closed in order to get a homogenous microstructure. In a subsequent forging process, due to the low depth penetration capacity of the plants used, only the contouring of the axle is carried out.

The SMS Meer presentation shows that using the SMX hydraulic radial forging machine from SMS Meer it is possible to produce railway axles in a single forming process. This means that pore-free railway axles with an excellent microstructure can be produced from conventional continuous cast material without any upstream rolling process being required. Using the hydraulic radial forging machine, continuous cast carbon steel with defects running in an axial direction can be forged into a railway twin axle in only one heat. The high forming potential of the hydraulic radial forging machine makes this possible.

The analyses with regard to microstructure, grain size and pore detection will show very good results. In the zone with the least degree of forming, a homogeneous microstructure evenly distributed across the radius was achieved. The average grain size of 8.5 (ASTM) is likewise evenly distributed across the radius. An ultrasonic analysis of the forged axles showed that there are no pores larger than 3 mm.

As these results are very promising, the forging time will be optimized in subsequent tests and the forged axles will be finish machined for a final analysis in accordance with the railway standard.

Введение и постановка цели

Вследствие необходимости капиталовложений в развитие транспортных сетей в таких странах, как, например, Россия и Индия, наблюдается растущий спрос на оборудование для производства рельсов, железнодорожных колес и железнодорожных осей.

В настоящее время ковка железнодорожных осей осуществляется, большей частью, в ходе различных, следующих друг за другом процессов деформации. Например, в первом процессе прокатки происходит закрытие возможно имеющихся дефектов кристаллической решетки в исходном материале и создание гомогенной структуры материала. В заключительном процессековки, вследствие недостаточной способности используемого оборудования воздействовать на глубокие слои материала, выполняются лишь оконтуривание оси.

Предлагаемая публикация показывает, что на гидравлической машине радиальнойковки типа SMX фирмы SMS Meer железнодорожные оси могут изготавливаться в ходе только одного

процесса деформации. Это означает, что, например, из обычной непрерывно-литой заготовки производятся беспористые железнодорожные оси с превосходной структурой материала, без ранее необходимой предварительной операции прокатки. Этот процесс, эффективный вследствие снижения затрат, становится возможным благодаря высокому деформационному потенциалу гидравлической машины радиальнойковки.

Оборудование и материал

Ковка железнодорожных осей производилась на гидравлической машине радиальнойковки типа SMX стандартным инструментом. Характерным для гидравлической концепции установки является максимальное усилиековки по всему ходу, что обеспечивает превосходную проковку, вплоть до сердцевины заготовки.

В качестве исходного материала использовалась непрерывно-литая углеродистая сталь марки C45 согласно рис. 1 с исходным диаметром 410 мм.

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	H	N	Mo
0,47	0,68	0,27	0,015	0,02	0,14	0,03	1,4 ppm	0,0031	0,016

Рис.1. Химический состав

Перед ковкой исходный материал подвергался ультразвуковому анализу с целью обнаружения таких дефектов, как поры. Все исходные заготовки имели усадочные раковины

эталонной величины от 3 до 4,5 мм распределенные в осевом направлении центральной области (рис. 2)



Рис. 2 : Исходный материал маркиС45.

Предварительные эксперименты

В предварительных экспериментах, во время которых сначала проводилась ковка исходного материала до различных диаметров, предстояло ответить на вопрос, могут ли быть закрыты дефектные места в исходном материале и, если да, то насколько. Это является предпосылкой для успешнойковки железнодорожных осей. Кроме этого благодаря такому подходу можно проверить, при какой степени деформации будет достигнута достаточная проковка материала до сердцевины. Таким образом, во время предварительных экспериментов не производилась ковка контуров осей.

Из непрерывно-литой заготовки исходного диаметра 410 мм за один нагрев

производилась ковка круглых прутков диаметром $\varnothing = 205$ мм, 220 мм и 235 мм. Это соответствует общей степени деформации $\varphi = 4$ ($\varnothing = 205$ мм), 3,5 ($\varnothing = 220$ мм) und 3 ($\varnothing = 235$ мм). Все прутки были выкованы за 6 проходов со степенью деформации $\varphi = \text{von } 1,35$ за проход.

Послековки проводилось металлографическое исследование прутков. Для этого с трех мест каждого прутка, распределенных по радиусу, отбирались пробы. Места отбора проб на всех заготовках располагались на расстоянии 25 мм под поверхностью, на $\frac{1}{4}$ диаметра и на центральной оси. На рис. 3 приведены абсолютные значения позиций отбора проб.

г [мм]	$\varnothing = 205$ мм	$\varnothing = 220$ мм	$\varnothing = 235$ мм
25 ммпод поверхностью	77,5	85	95,5
$\frac{1}{4}$ диаметра	51,25	55	58,75
центральная ось	0	0	0

Рис.3 : Позиции отбора проб для анализа микроструктуры.

Результаты металлографического анализа различных кованых диаметров представлены на рис. с 4 по 6. Все пробы были протравлены в 4-процентной азотной кислоте.

На рис. 4 представлены результаты исследования микроструктуры стального прутка диаметром $\varnothing = 205$ мм.

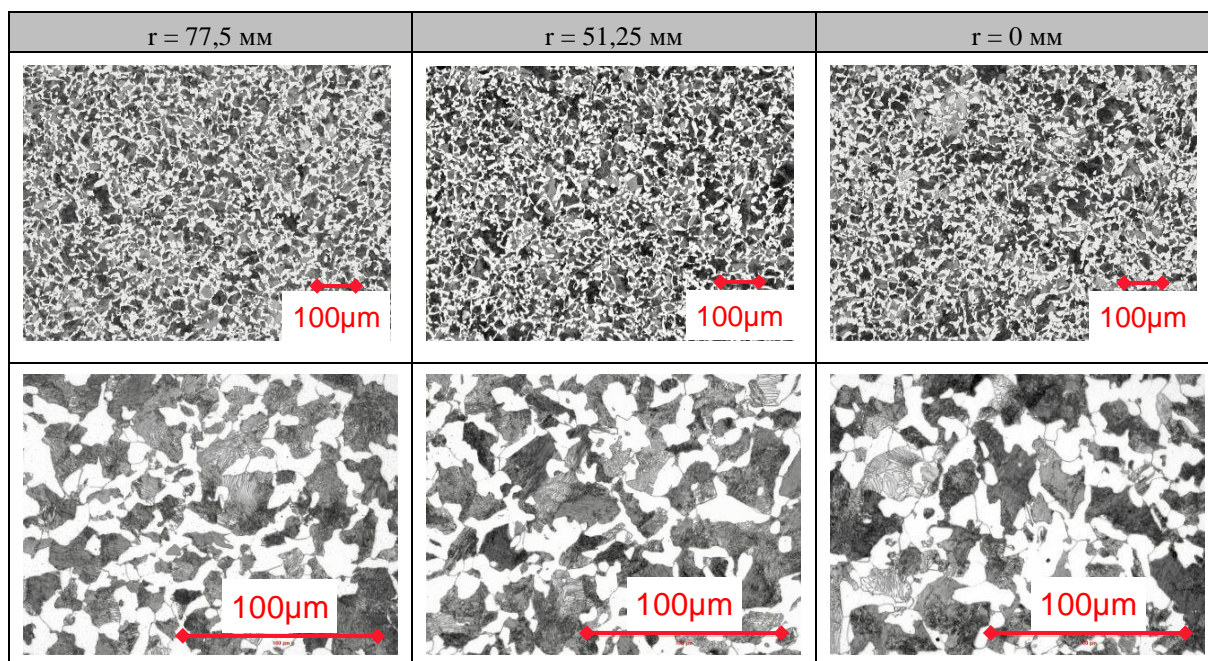


Рис. 4: Микроструктуры стального прутка $\varnothing = 205 \text{ мм}$.

Как можно увидеть на рисунке, при общей степени деформации $\varphi = 4$ по радиусу была реализована однородная, равномерно распределенная структура, состоящая из ферритных зерен и перлита.

Сравнивая однородную, равномерно распределенную структуру была реализована также

в образцах диаметром $\varnothing = 220 \text{ мм}$ (Ошибка! Неизвестный аргумент ключа.) и $\varnothing = 235 \text{ мм}$ (Ошибка! Неизвестный аргумент ключа.).

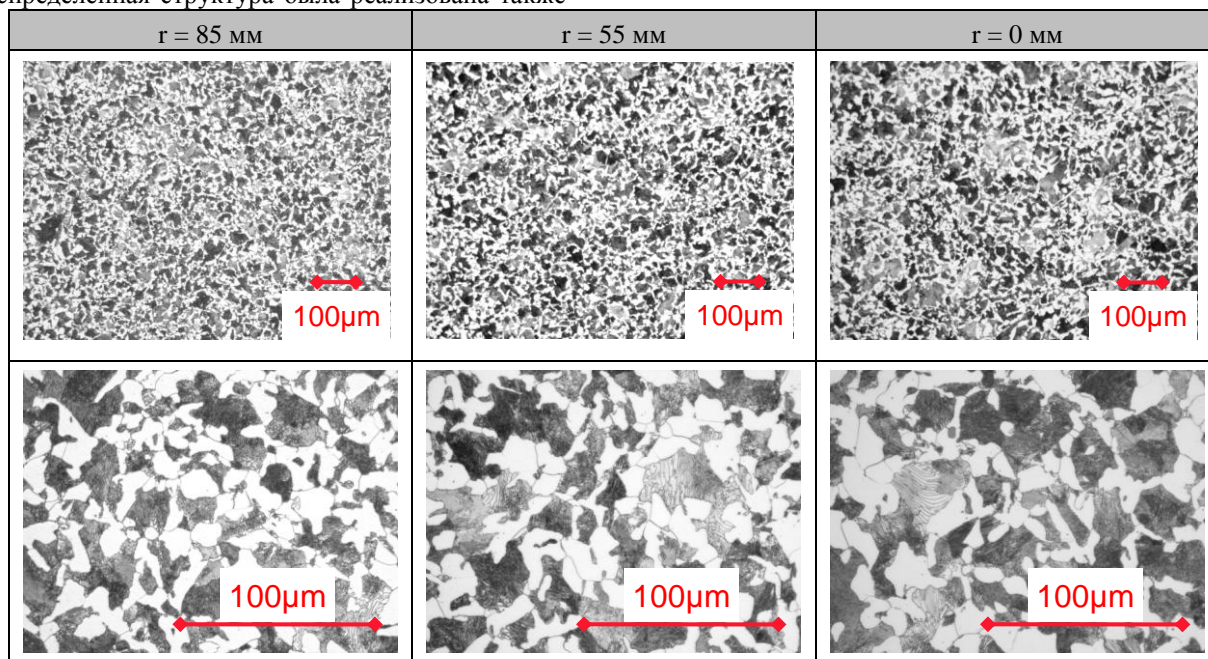


Рис.5 : Микроструктура стального прутка $\varnothing = 220 \text{ мм}$

Как видно на Ошибка! Неизвестный аргумент ключа., даже при самой малой деформации с общей степенью $\varphi = 3$

могла быть достигнута однородная структура, равномерно распределенная по радиусу.

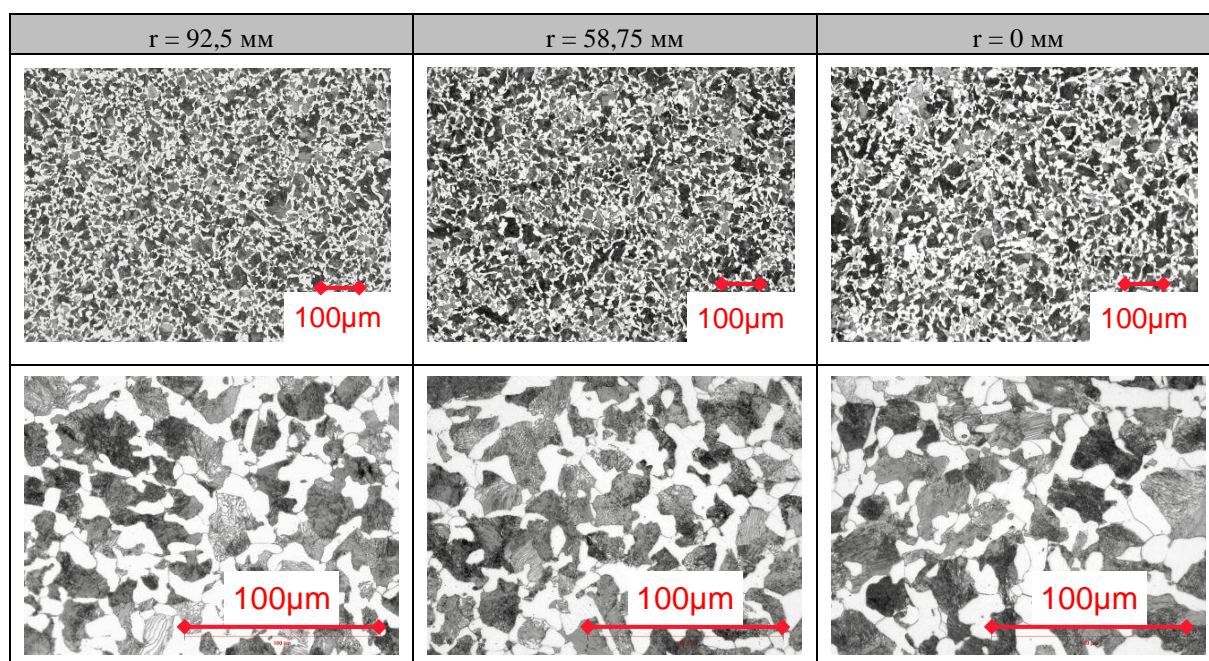


Рис.6 : Микроструктура стального прутка $\varnothing = 235 \text{ мм}$

Чтобы проверить, были ли в прутках закрыты дефектные места в форме усадочных раковин, имевшиеся в исходном материале, прутки были исследованы при помощи ультразвука.

Обработанные пескоструем круглые прутки испытывались ультразвуком согласно спецификации EN10228-3. Эта норма применяется для контроля железнодорожных осей. Хотя кованые круглые прутки и не являются конечным продуктом, обработанным до готовности механическим способом, но предварительные эксперименты должны были дать первое впечатление о достигнутом качестве, поэтому для оценки и применялась соответствующая норма.

Как показано на рис. 7, кованые круглые прутки были исследованы по двум различным категориям. По категории 3, которая важна для контроля железнодорожных осей, регистрируемый предел составляет 3 мм. Это означает, что обнаруживаются дефекты эталонной величины в мин. 3 мм. По более жесткой категории 4 регистрируемый предел составляет 2 мм. Ясно видно, что во всех трех круглых прутках не мог быть обнаружен дефект эталонной величины минимум в 3 мм. И только применяя категорию 4 на прутке с самой малой общей степенью деформации 3 удалось обнаружить дефектное место на глубине 115 мм. Эталонная величина этого дефекта составляет 2,2 мм.

Ø [мм] (после обработки песко-струем)	Ф [-]	Спецификация EN 10228-3	
		Категория 3 (важная для ж/д осей)	Категория 4
		Регистрируемый предел 3	Регистрируемый предел 2
205	4	✓	✓
220	3,5	✓	✓
235	3	✓	✗

Рис. 7: Результаты ультразвукового исследования различных круглых прутков

Ковка двойных осей

Из непрерывно-литого исходного материала после удовлетворительных результатов предварительных экспериментов на гидравлической машине радиальнойковки были выкованы двойные оси. Эти двойные оси были

также изготовлены только за один нагрев. Как показано на рис. 8, речь идет о двух идентичных железнодорожных осях, которые выковываются из одной исходной заготовки и затем разрезаются. Такой подход ведет к экономии времени, так как полностью отпадает двойное время на загрузку и разгрузку.

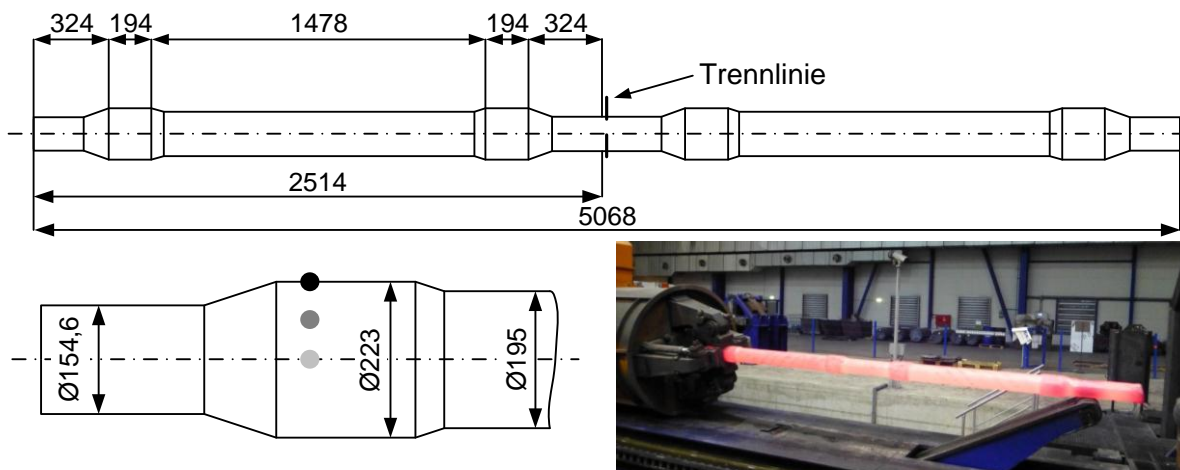


Рис. 8: Двойная ось: геометрия с позициями анализа и кованая двойная ось (Trennlinie = линия разреза)

На **Ошибка! Неизвестный аргумент ключа.** представлены фотографии микроструктуры участка наружного буртика

диаметром 223 мм. Здесь можно распознать, что участок с наименьшей деформацией имеет по радиусу превосходную гомогенную структуру.

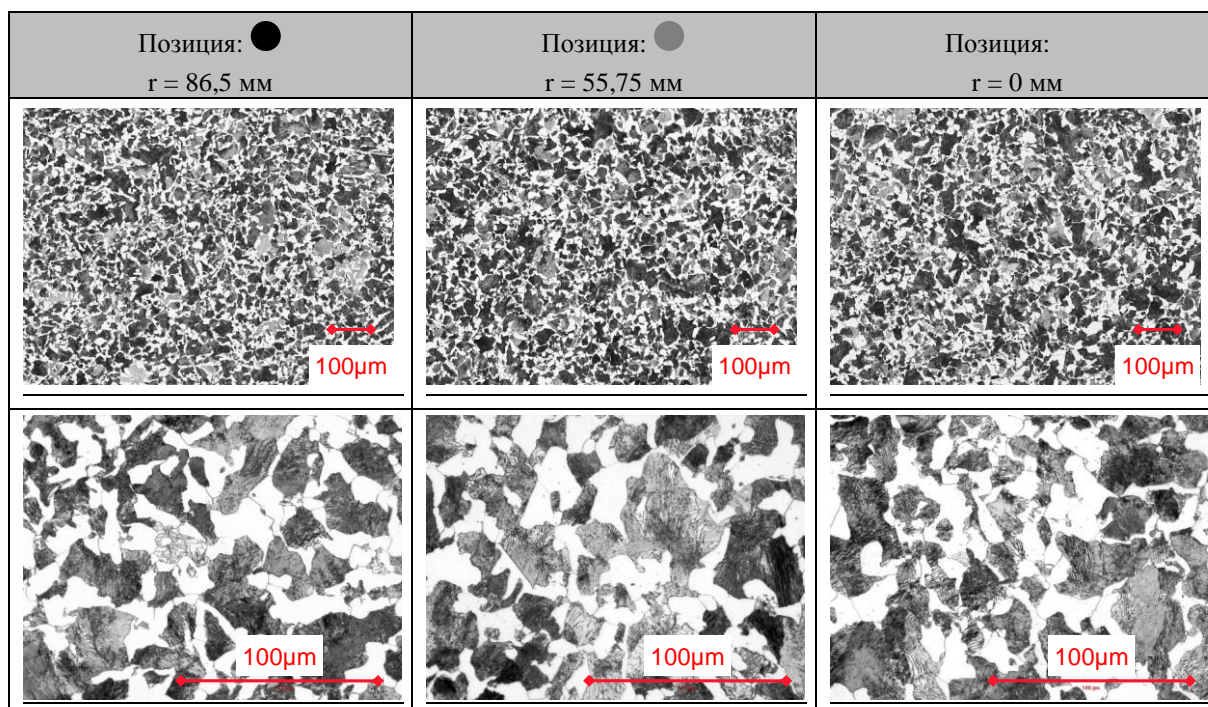


Рис. 9: Микроструктура кованой двойной оси в различных, расположенных по радиусу, позициях анализа.

Исследование величины зерна в соответствии с ASTM E 112-96 показывает слегка уменьшающийся по радиусу размер зерна,

который в среднем, однако, имеет прекрасное значение 8,5**Ошибка! Неизвестный аргумент ключа.**

Позиция: ● r = 86,5 мм	Позиция: ● r = 55,75 мм	Позиция: ● r = 0 мм
8,75	8,55	8,47

Рис. 10: Распределение размеров зерен по радиусу

Чтобы получить представление о возможных дефектных местах по всей длине оси, оси также были исследованы при помощи ультразвука согласно норме EN 10228-3, категории 3, применяемой для железнодорожных осей. Поскольку и двойные оси были подвергнуты исследованию не в окончательно обработанном состоянии, а только после обработки пескоструем, то и этот результат следует рассматривать лишь как общее представление о качестве кованых осей. Во время выше указанного ультразвукового анализа, при котором регистрируемый предел размеров дефекта составляет 3 мм, здесь не были обнаружены дефектные места эталонной величины более 3 мм.

Ковка отдельных осей

Наряду с описанными выше двойными осями для демонстрационных целей за один нагрев были выкованы также и одинарные оси из непрерывно-литого исходного материала сорта C45. Основная геометрия отдельной оси соответствует геометрии двойной оси, разрезанной послековки, рис. 11.

По сравнению с двойной осью, время на ковку одинарной оси было значительно укорочено. Однако, при ковке двойной оси, по сравнению с ковкой одинарной оси, экономится дополнительное время, например, на изъятие заготовки из печи, транспортировку к ковочному узлу и загрузку манипуляторов, а оба типа осей могут выковываться за один нагрев, то ковка двойной оси представляет собой экономически более рентабельное решение.

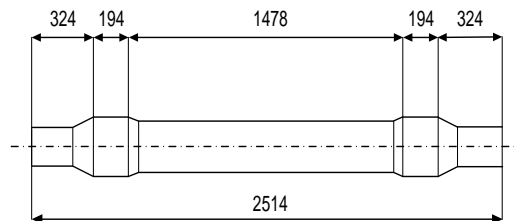


Рис. 11: Геометрия одинарной оси

На **Ошибка! Неизвестный аргумент ключа.** представлена геометрия одинарной кованной оси.



Рис.12 : Одинарная кованная ось

Поскольку одинарная ось при использовании одинакового исходного материала, как и для двойной оси, подвергается одинаковой деформации, то микроструктура одинарной оси исследовалась только выборочно. Как видно на рис. 13, одинарная ось имеет кристаллическую структуру, сравнимую со структурой двойной оси.

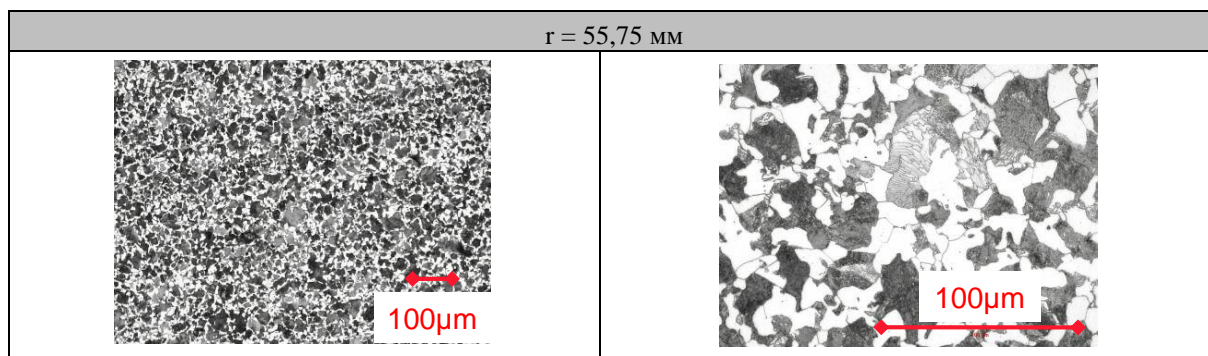


Рис. 13: Микроструктура кованной одинарной оси.

Как и двойная ось, одинарная ось также была подвергнута исследованию ультразвуком на наличие возможных дефектных мест. При использовании спецификации EN 10228-3 дефектных мест с эталонной величиной минимум 3 мм обнаружено не было. Размер зерна одинарной оси составляет 8.

Резюме

На гидравлической машине радиальнойковки из заготовки непрерывно-литой углеродистой стали, в которой в осевом направлении присутствовали дефектные места, за один нагрев были выкованы двойные и одинарные железнодорожные оси. В ходе проведенных анализов микроструктуры и размера зерна, а также исследования на наличие пор были получены очень хорошие результаты.

Все оси, включая участок, подвергшийся наименьшей деформации, имели равномерно распределенную по радиусу гомогенную структуру. Размер зерна двойной оси составлял 8,5 (ASTM), равномерно распределённого по радиусу. При проведении специфических для железной дороги ультразвуковых исследований кованых осей могло быть показано, что ни в одной из осей не имелось пор, которые превышали бы эталонную величину 3 мм. На основании полученных превосходных результатов исследования структуры, в будущем будет оптимизировано время ковки, а кованые оси будут окончательно обрабатываться для завершающего анализа согласно железнодорожному стандарту.

Как это было продемонстрировано, благодаря использованию гидравлической машины радиальной ковки типа SMX традиционный путь изготовления железнодорожных осей может быть значительно сокращен. В настоящее время производство железнодорожных осей начинается с изготовления исходного материала, затем следует прокатка полуфабриката и за ней ковка до готовности. Благодаря качественным преимуществам гидравлической машины радиальной ковки, операция прокатки полуфабриката становятся излишней, что дает заказчику преимущества во времени и по материальным затратам.